E/CONF.39/A/149
20 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A. 3. 4. 3

France

LA PLUIE PROVOQUEE
ET LA MODIFICATION ARTIFICIELLE DU TEMPS

Par H. DESSENS,
Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme

et J. TIXERONT,
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
Ingénieur-conseil de la Société de Développement
des Techniques de Pluie provoquée

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LA PLUIE PROVOQUEE

ET LA MODIFICATION ARTIFICIELLE DU TEMPS

H. DESSENS
Directeur de l'Observatoire
du Puy de Dôme

J. TIXERONT
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
Ingénieur Conseil de la Société de Développement des Techniques de Pluie Provoquée

RAPPORT de Mr DESSENS

Les recherches sur la modification artificielle du temps se sont développées à partir de 1946, à la suite des remarquables expériences d'ensemencement des nuages réalisées aux Etats-Unis par les physiciens de la General Electric.

I - PROCEDES D'ENSEMENCEMENT

a) Principe

Les procédés d'ensemencement se proposent d'obtenir la formation de gros éléments (gouttes de pluie ou flocons de neige) à partir de la multitude de petites gouttelettes constituant un nuage stable.

L'ensemencement en cristaux de glace d'un nuage surfondu (c'est-à-dire constitué par des gouttelettes liquides à température négative) est basé sur la différence des tensions de vapeur de la glace et de l'eau à une température donnée : de cette différence résulte la croissance des cristaux aux dépens des gouttelettes par l'intermédiaire de la vapeur (T. Bergeron, 1935). Lorsque de gros éléments glacés se sont développés suffisamment, leur vitesse de chute devient appréciable tandis que celle des gouttelettes est négligeable ; il en résulte un processus de capture des gouttelettes par les cristaux et une croissance accélérée de ces derniers. Ce processus est appelé "coalescence" (I. Langmuir, 1947).

Pour déclencher la coalescence, il suffit en principe d'arroser le nuage stable en gouttes d'eau de diamètre nettement supérieur à celui des gouttes de nuage. Comme le nuage contient déjà beaucoup d'eau, on a pensé, au lieu d'introduire ces grosses gouttes, à les condenser sur des particules hygroscopiques telles que des cristaux de chlorure de sodium. Avec 10 kg de sel on peut ainsi obtenir 1.000 kg de grosses gouttes, ce qui constitue une économie de poids à transporter.

b) Réalisation

Deux procédés d'ensemencement en cristaux de glace ont été largement expérimentés : le premier (V. Schaefer, 1946) consiste à soumettre le nuage surfondu à un refroidissement localisé abaissant la température au-dessous de -35°C : il en résulte la naissance d'un grand nombre de cristaux qui se dispersent dans le nuage et l'ensemencent. L'agent réfrigérant le plus utilisé est la neige carbonique qui est généralement transportée dans le nuage à l'aide d'avions. Le propane liquide a également été préconisé (R. Serpolay, 1955) et expérimenté, principalement en France.

Le deuxième procédé (B.Vonnegut, 1947) utilise la propriété présentée par des grains submicroniques d'iodure d'argent de servir de germes pour la formation et la croissance de cristaux de glace. L'avantage de ce procédé provient de ce qu'il est possible de disperser l'iodure sous le nuage, par exemple au niveau du sol, quelle que soit la température à ce niveau : il s'agit alors de procéder à l'émission d'iodure dans un site choisi de façon que les courants aériens transportent les particules dans la région nuageuse où la température est inférieure à -4°C, seuil d'efficacité de ce produit. Actuellement, on sait réaliser des générateurs capables de produire 10^{15} particules efficaces pour 1 g d'iodure vaporisé puis recondensé en minuscules particules.

L'arrosage du nuage en gouttes d'eau exige l'emploi d'avions. Les ensemencements en particules salines (solution pulvérisée ou poudre sèche) sont effectués par avions, fusées, ballons ou à partir du sol (situations à forte convection).

c) Résultats

L'arrosage par gouttes d'eau a initié des précipitations détectables par radar ;mais ni cette technique ni l'ensemencement en particules hygroscopiques n'ont conduit à des résultats ouvrant des perspectives d'ordre pratique.

L'ensemencement des nuages surfondus en cristaux de glace à l'aide de produits frigorigènes (neige carbonique, propane) a donné des résultats très spectaculaires : chutes de neige localisées, dissipation de nuages ou de brouillards. Des opérations en cours (notamment à l'aéroport de Paris-Orly) permettent d'escompter des résultats pratiques dans la dissipation ou l'atténuation des brouillards à température négative.

C'est l'ensemencement par l'iodure d'argent qui a donné lieu aux tentatives les plus nombreuses : ensemencements par avions des nuages d'un secteur donné chaque fois que les nuages étaient susceptibles de dépasser le niveau -4°C (Etats-Unis, Australie) ; ensemencements par un réseau de générateurs au sol polluant de particules d'iodure tout l'air d'une région. Souvent, pour sensibiliser les données statistiques, ces ensemencements étaient soumis à une procédure de tirage au sort permettant des comparaisons entre zone cible et zone témoin, périodes d'essai et périodes témoins. L'évaluation statistique des résultats a donné lieu à des controverses si vives qu'aucune donnée précise certaine ne peut encore être dégagée aujourd'hui. Il est possible et même probable que des augmentations de précipitations de l'ordre de 10 à 20% aient été obtenues par des opérations avec avions (Australie) ou avec générateurs au sol (Ouest des Etats-Unis). Il est probable d'autre part que des opérations d'ensemencement par générateurs au sol en vue de réduire les dégâts occasionnés par la grêle aient abouti à des réductions statistiques de l'ordre de 25% de ces dégâts (France 1951-1962).

d) Propositions

Il convient de surveiller les résultats des opérations de dissipation des brouillards, d'augmentation des précipitations et de suppression de la grêle actuellement poursuivies. Nous devons cependant observer que la plupart de ces tentatives ont lieu dans les régions tempérées.

Or, des recherches poursuivies en Afrique Equatoriale par des physiciens français, ont montré que les régions tropicales convenaient mieux que les régions tempérées à des tentatives d'augmentation des précipitations par générateurs au sol d'iodure d'argent. En effet, les masses d'air tropicales sont mieux définies, plus invariables, plus stagnantes, moins polluées par des produits "glaçogènes" industriels que celles des régions tempérées ; de plus, les pluies y sont d'origine convective locale, et l'effet d'une intervention n'est pas noyé dans les précipitations naturelles liées au passage d'une grande perturbation. Si l'isotherme 0°C est relevé de 1 km par rapport aux régions tempérées, il en est de même de l'isotherme -35°C (seuil provoquant la formation de grandes averses) ; d'autre part, les sommets des nuages convectifs sont eux-mêmes relevés de 5 km par rapport aux régions tempérées, ce qui donne à la phase glace une plus grande importance relative.

En conclusion, nous proposons que des ensemencements par générateurs au sol de particules d'iodure d'argent soient effectués dans les régions tropicales. Les opérations devront être conduites par des spécialistes objectifs et désintéressés, avec un matériel parfaitement contrôlé ; des procédés statistiques simples d'évaluation seront appliqués. Les essais porteront sur les saisons pluvieuses et les bordures des saisons sèches, éventuellement sur les saisons sèches. Quelques études et essais préliminaires montrent que les républiques congolaises, le Cambodge, le Vietnam, la Malaisie, le Brésil, entre autres pays tropicaux, conviendraient pour ces expériences.

II - CONVECTION ARTIFICIELLE

a) Principe

La formation de nuages à pluie ou d'orages sur des incendies a été déjà observée dans l'antiquité (Thucydide, Hérodote) ; l'obtention systématique de pluie à l'aide de grands feux a été préconisée par Espy (1840) et par Rové et Gorêg (1938). Desclers en 1930 a proposé que des centres de surchauffe solaire soient organisés pour créer une convection privilégiée pluvigène. Ses idées ont été reprises et modernisées par un autre français, J. Vaillant, et ont donné lieu à un début d'expérimentation en Afrique équatoriale.

Toutes ces observations et suggestions conduisent à dégager aujourd'hui le principe d'une nouvelle méthode de pluie provoquée et de modification du temps : l'effet le plus important de la radiation

solaire à l'échelle de la planète consiste à évaporer de l'eau, de sorte que le mélange air-vapeur d'eau contient une énorme quantité d'énergie ex-solaire. Cette énergie (environ 600 calories par gramme d'eau) est libérée lorsque la vapeur atteint le point de saturation et se condense. C'est ce qui se produit naturellement dans les nuages, et la libération d'énergie est souvent telle qu'elle provoque la formation d'orages, tornades, cyclones et autres perturbations dévastatrices. Les méthodes de convection artificielle considèrent cette énergie latente comme une forme économiquement récupérable de l'énergie solaire. Pour provoquer la condensation, il suffit de refroidir l'air contenant de la vapeur d'eau, et ce refroidissement est obtenu par détente. La façon la plus économique d'obtenir artificiellement une détente contrôlée consiste à tirer parti de la poussée d'Archimède en ajoutant à cette poussée un petit supplément, sous forme d'énergie thermique, supplément juste suffisant pour détruire l'équilibre de l'air et pour le mettre en mouvement ascendant ; si ce mouvement se prolonge jusqu'au niveau de condensation, la libération de la chaleur latente sert de relai et accélère le mouvement ascendant, par suite augmente l'énergie libérée. Lorsque le nuage formé se développe suffisamment, il produit de la pluie.

b) Réalisation et résultats préliminaires

Des incendies de savanes systématiquement allumés à des moments jugés favorables ont permis d'obtenir des nuages et des pluies qui ne se seraient pas manifestés naturellement (Afrique Equatoriale, 1956.) Après examen de ces premiers résultats, des physiciens belges et français ont décidé d'entreprendre des expériences à l'aide d'un ensemble de 100 brûleurs à fuel, dénommé "météotron", dont la puissance thermique est de l'ordre du million de kilowatts. Par suite des circonstances, les essais qui devaient être effectués sur le territoire du Congo-Léopoldville ont lieu en France. Ils confirment les vues exposées ci-dessus.

c) Propositions

1°) La faiblesse et la régularité des vents et la forte humidité des basses couches atmosphériques font des régions équatoriales un terrain de choix pour les premières tentatives d'exploitation de la convection artificielle. Il conviendrait par exemple, dans une région de savanes à pluviométrie insuffisante, d'augmenter les pluies sur une superficie réduite, de l'ordre du millier d'hectares, de façon à la rendre cultivable. Deux objectifs sont à envisager :
- localiser des averses qui tomberaient naturellement sur des zones incultes ;
- créer des averses qui ne se produiraient pas naturellement sur la région.
Accessoirement, l'expérience servirait de test aux méthodes d'ensemencement, la cheminée d'ascendance étant utilisable pour le transfert du sol aux nuages des particules actives.

Les pays de l'Afrique équatoriale conviendraient particulièrement pour ce type d'expériences.

2°) Dans une deuxième étape, il conviendrait d'envisager une action en marge des régions désertiques. Il serait alors indiqué d'essayer d'abord d'augmenter les pluies sur des foyers pluvigènes naturels au lieu de mettre en compétition un foyer naturel et un foyer artificiel, d'augmenter les occasions d'efficacité du foyer naturel.

Dans les régions tempérées, la seule exploitation de la convection artificielle déjà prévisible consisterait à augmenter les précipitations sur un bassin élevé et équipé pour le stockage de l'eau en simulant les nuages convectifs sur ce bassin.

3°) Il a été enfin suggéré que dans certaines régions, l'évolution de situations météorologiques dépend d'une perturbation minime apparaissant en un point névralgique. Il est donc possible qu'une impulsion thermique provoquant la libération d'une énergie latente beaucoup plus considérable soit capable de déclencher une modification du temps à grande échelle.

4°) Il faut enfin recommander la prise en considération de la création de centres pluvigènes selon Dessaliers et Vaillant où il serait exclusivement fait appel, pour créer l'ascendance, à l'énergie solaire. Ce contrôle du phénomène naturel créateur de nuages et de pluies pourrait être obtenu en recouvrant une superficie d'au moins 100 hectares d'une mince couche de bitume sombre et imperméable, pour augmenter l'échauffement par absorption de radiation et empêcher le refroidissement par évaporation superficielle. Une telle entreprise devrait être tentée dans une région ensoleillée, peu ventée et présentant une couche d'air humide au voisinage du sol ; les régions tropicales sont à recommander une fois de plus.

III - CONCLUSION GENERALE

Depuis 1946, les sensationnelles découvertes de physiciens américains ont provoqué la multiplication des recherches sur la modification du temps par ensemencement des nuages. Des résultats pratiques de ces recherches ont été quelque peu décevants, bien qu'il subsiste des espoirs sérieux, notamment en ce qui concerne l'augmentation des pluies dans les régions tropicales par des ensemencements en iodure d'argent effectués depuis le sol.

La vogue des techniques d'ensemencement ne doit cependant pas étrangler le champ des recherches, ni faire oublier que les causes des pluies naturelles sont plutôt thermiques et dynamiques que microphysiques. L'action thermodynamique sur les nuages, au moyen de la convection provoquée, doit donner lieu à une expérimentation beaucoup plus étendue qu'elle ne l'a été jusqu'ici. Des succès d'importance économique sont probables, au moins dans les régions tropicales.

Rapport de Mr TIXERONT

I°) Le but du présent rapport est d'exposer les travaux d'un groupe d'organismes français, publics et privés travaillant en étroite coopération avec la Météorologie Nationale et composé de l'Electricité de France et du Bureau d'Investissement en Afrique, agissant par l'intermédiaire de la Société de développement des techniques de pluie provoquée.

2°) La complexité des phénomènes en jeu dans les tentatives d'influencer les précipitations et d'en démontrer l'efficacité impose la mise au point et l'utilisation d'un faisceau convergent de méthodes et de moyens de mesure, utilisé isolément chacun de ces moyens, se montre impuissant, tout au moins jusqu'ici, à administrer la preuve de l'efficacité des ensemencements de nuages par des substances pluvigènes

a) Mesure de précipitations et méthodes statistiques de contrôle. Cette question est essentiellement abordée en France par EDF sur son terrain d'expérience de la Truyère dans le Massif Central, les résultats montrent, d'une part, l'importance de la qualité des mesures de précipitations et d'autre part permettant de fixer les limites de l'emploi et de la validité des nombreuses méthodes statistiques de contrôle. Nous citons, en particulier, les contrôles d'ensemencement de nuages actuellement en cours et basés sur la "randomisation" de ces ensemencements, ainsi que la mesure de l'intensité des précipitations par le radar.

b) Recherches de laboratoire sur l'activité des substances pluvigènes et les méthodes et appareils de prélèvements et de comptage des particules.

i) Un premier problème consiste à identifier et à compter au laboratoire les noyaux glaciogènes issus d'un générateur de particules dont le débit est de l'ordre de 10^{13} particules par seconde. Une installation permettant de travailler dans des conditions bien connues et reproductibles a été réalisée à SAINT-NIZIER près de Grenoble (FIG. I). Elle se compose d'un tour de dilution permettant de réaliser en continu des concentrations de l'ordre de 10^{4} particules par litre et d'une chambre de comptage dans laquelle les cristaux de glaces formés viennent s'inclure dans une pellicule de résine synthétique fournissant une "réplique" des cristaux.

ii) On a cherché, ensuite, à relier l'activité des noyaux glaciogènes à leur structure fine observée au microscope électronique. Ceci implique une large mise au point des technique de prélèvements sur grille.

iii) Un troisième objectif atteint est la réalisation d'un compteur automatique de particules à usage industriel, permettant de mesurer dans la nature les concentrations en noyaux artificiels émis au cours des ensemencements de nuages cet appareil (FIG. II) peut être utilisé au sol, sur un ballon ou en avion. Il est basé sur le principe d'une chambre à mélange les cristaux formés sédimentent sur un film photographique. La cadence de mesure est de une par cinq minutes.

iiii) D'autres substances pluvigènes que l'iodure d'argent sont également à l'étude notamment les substances hygroscopiques utilisables dans le cas des nuages à température positive. Ces recherches sont entreprises avec la participation de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique. L'expérimentation est réalisée dans un tunnel à nuage où l'on étudie la stabilité

d'un nuage artificiel, ses caractéristiques granulométriques son état thermodynamique et l'effet de l'introduction des divers agents pluvigènes.

c) Essais dans l'atmosphère en vraie grandeur sur le comportement des particules glaciogènes.

i) Un centre d'essais a été installé à SARDIEU (FIG. II) pour étudier la diffusion des particules et mettre au point des méthodes de prospection de l'atmosphère applicable par la suite à toutes les opérations industrielles d'ensemencement des nuages. L'instrument de travail est le compteur automatique employé simultanément au sol, sur un ballon et en avion. Une station météorologique où l'on exécute, en particulier, des radiosondages sur ballon captif, complète le dispositif. Tous les renseignements météorologiques sont ainsi fichés et servent à l'exploitation des résultats de comptage.

ii) Le comportement des noyaux glaciogènes est également étudié dans certains cas particuliers par E.D.F., notamment au Mont-Ventoux par situation d'ondes stationnaires dans laquelle les nuages rassemblent les conditions d'un laboratoire naturel idéal.

iii) Par la suite, l'expérimentation sera portée dans l'atmosphère à des altitudes plus élevées dans la portion active des nuages. A cet effet, un centre d'essais près de LORIENT, en Bretagne (FIG. III), dans une région où la nébulosité est forte, a été créé pour essayer de résoudre tous ces problèmes. Le but du programme est d'étudier la structure des nuages et les processus naturels de précipitations, ainsi que l'effet des ensemencements par avions Aucun moyen de mesure ne devant être négligé, un avion sera transformé en véritable laboratoire volant, permettant d'accumuler un nombre important de mesures qui seront ensuite dépouillées, interprétées puis fichées et qui comprendront :

a, prises de vues cinématographiques continues du décollage à l'atterrissage,

b, mesure de température et d'humidité de la masse d'air,

c, mesure de la teneur en eau liquide et solide ainsi que du spectre granulométrique des gouttes,

d, mesure de la concentration en noyaux glaciogènes naturels ou artificiels.

Une station de radar météorologique permet, en outre, de contrôler tous ces essais.

d) Opérations expérimentales à grande échelle :

i) Nous avons mentionné l'opération conduite par E.D.F. sur la Truyère. Cette opération sert de support aux études sur les méthodes statistiques de contrôle et dans un proche avenir au contrôle des concentrations en noyaux émis au cours d'une opération de grande envergure.

ii) Une seconde opération du même style, conduite par SODETEP, se déroule actuellement en Algérie. Elle a pour but d'étudier en Afrique, sous d'autres climats, les possibilités de transposer les résultats acquis en France.

3°) Les résultats obtenus tant au cours des opérations sur le terrain, que dans les essais en vraie grandeur de Sardieu, sont, certes, encourageants, mais ils ne sont pas significatifs au sens de la statistique. Cependant, l'intérêt économique d'un accroissement même réduit des précipitations est considérable sur le plan de l'énergie hydraulique et de l'agriculture. A cet égard, l'étude de Mr TRESTOURNEL, Inspecteur Principal de la Section Algérienne de l'Office National Interprofessionnel des Céréales (SAONIC), est suffisamment éloquente : elle montre qu'un faible accroissement de l'ordre de 10 m/m des précipitations en avril et mai se traduit par un accroissement de 10 à 20 % des rendements en céréales. Nous pensons que la mise en oeuvre systématique de moyens et de méthodes rigoureuses de travail permettrait d'y voir plus clair, l'intérêt économique d'un accroissement même réduit des précipitations justifie amplement cet effort.

Fig. I CENTRE DE S[t] NIZIER

Mesure du rendement des générateurs de noyaux glacogènes

Cheminée de dilution

Fig. II CENTRE DE SARDIEU

Mesure des concentrations en noyaux glacogenes

Ballon de 150m³ porteur du compteur automatique et pylone de mesures aerologiques

Fig. III CENTRE DE LORIENT

Etude des précipitations

Aerien du radar météorologique de 3,2 cm

Rapport de M. Tixeront (Annexe)

1194 F - Oct. 1962 - 1,000